

# 2009 年攻读硕士学位研究生入学考试试题

## 材料科学基础

一、(共 20 分) 已知铝的空位形成能为  $0.76\text{eV/空位}$ ， $25^\circ\text{C}$  时铝的点阵常数为  $0.405\text{nm}$ 。

1. 计算  $25^\circ\text{C}$  时铝的空位浓度 (空位/ $\text{cm}^3$ )。
2. 铝在什么温度下空位浓度是  $25^\circ\text{C}$  时的 1000 倍?

二、(30 分) 根据  $\text{Fe-Fe}_3\text{C}$  相图，分析含碳量  $w_{\text{C}} = 1.2\%$  的铁碳合金从液态平衡冷却至室温的转变过程，并分别计算室温下的相组成物及组织组成物的相对量 (渗碳体含碳量为  $6.67\%$ )；如果要使显微组织中渗碳体与珠光体各占一半，那么该合金的含碳量是多少?

三、(30 分) 为什么多元合金凝固时会出现成分过冷? 成分过冷对合金的凝固组织有什么影响?

四、(15 分) 什么是变质剂? 试简述添加变质剂细化晶粒的基本原理。

五、(20 分) 结合影响金属材料强度的因素，总结位错理论在材料科学中的应用。

六、(20 分) 简述冷变形后金属回复及再结晶退火对材料组织和性能变化的规律，说明哪些地方可能是再结晶优先形核的地点，指出再结晶、结晶、固态相变之间的主要区别。

七、(共 15 分) 解答下列扩散问题。

1. (5 分) 简述影响扩散系数的主要因素。
2. (10 分) 试利用图 12-1 所示  $\text{Fe-O}$  相图分析纯铁在  $1000^\circ\text{C}$  氧化时氧化层内的组织与氧浓度分布规律，画出示意图。

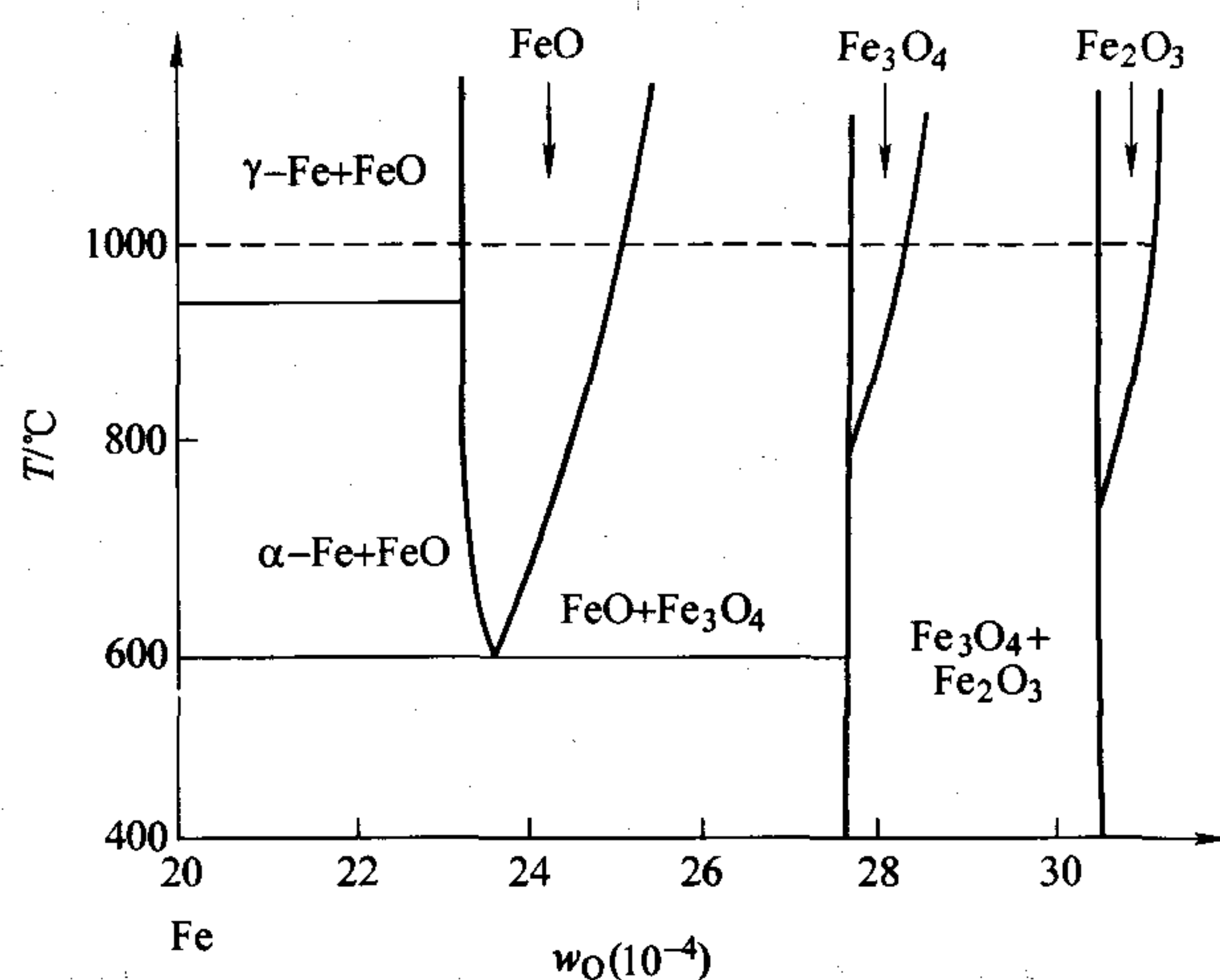


图 12-1 第七题第 2 小题图

## 标准答案

一、

1. 设铝的点阵常数为  $a = 0.405\text{nm}$ ，由题可知单位晶体体积内单胞数为  $\frac{1}{a^3}$ ，由于铝为 FCC 结构，每个单胞内的原子个数为 4，可知单位体积内结点个数为  $N = \frac{4}{a^3}$ 。空位浓度为

$$C_v = \frac{\text{单位体积内空位数 } (n)}{\text{单位体积内结点数 } (N)} = A e^{-\frac{Q_v}{RT}} \quad (12-1)$$

式中， $A$  为材料常数，通常取  $A = 1$ ；空位形成能  $Q_v = 0.76\text{eV}$ ，而  $1\text{eV} = 1.602 \times 10^{-19}\text{J}$ ； $R = 8.31\text{J/mol} \cdot \text{K}$ ，为气体常数； $T$  为热力学温度。

在  $25^\circ\text{C}$  时， $T = (273 + 25)\text{K} = 298\text{K}$ ，代入式 (12-1) 得到此温度下的铝中的空位浓度  $n = 8.34 \times 10^9$  空位/ $\text{cm}^3$ 。

2. 由空位浓度计算公式 (12-1)，不同温度下空位浓度与温度有关， $T_1 = 298\text{K}$ ， $T_2$  待求，而依题意有  $\frac{C_{T_1}}{C_{T_2}} = e^{\frac{Q_v}{RT_2} - \frac{Q_v}{RT_1}} = \frac{1}{1000}$ ，代入各数据计算可得  $T_2 = 115.7^\circ\text{C}$ 。

二、由 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图可知， $w_c = 1.2\%$  的铁碳合金在冷却过程中先凝固成奥氏体，当温度达到  $A_{cm}$  线后，开始析出渗碳体，随渗碳体的析出，奥氏体中的含



碳量降低，当温度达到 738℃ 时，奥氏体的含碳量变为 0.68%，发生共析转变成珠光体。所以最后相组成物为 18% 渗碳体 + 82% 铁素体，组织组成为 13% 的渗碳体 + 87% 珠光体。如果要使显微组织中渗碳体与珠光体各占一半，那么由杠杆定律计算得到该合金的含碳量为 3.675%。

三、多元合金凝固过程中熔点高的元素先凝固，如果合金搅拌不够充分，将会使低熔点的元素富集在凝固界面前沿，降低凝固界面前沿液相的实际凝固温度，这时即使是正的温度梯度，凝固界面前沿也可能出现过冷度随离开界面距离增加而增大的现象，这种现象称为成分过冷现象。成分过冷现象的出现将使多元合金即使在正的温度梯度下也可能出现胞状组织或枝晶组织。

四、通过少量添加能改变合金铸造组织相组成、相形貌或晶粒度从而改变铸造合金性能的物质称为变质剂。变质剂细化晶粒的基本原理是变质剂本身或变质剂与合金中元素反应能够形成构成合金析出晶核的弥散相，该弥散相与合金凝固相能形成界面能很低的共格界面，合金在该弥散相上非均匀形核从而达到细化晶粒的目的。

五、固溶强化的可能位错机制主要是溶质原子气团对位错的钉扎，增加了位错滑移阻力。如溶质原子与位错弹性交互作用的柯垂尔气团和斯诺克气团，溶质原子与扩展位错交互作用的铃木气团，使层错宽度增加，位错难于束集，交滑移困难；溶质原子形成的偏聚和短程有序，位错运动通过时破坏了偏聚和短程有序使得能量升高，增加位错的阻力；溶质原子与位错的静电交互作用对位错滑移产生的阻力使材料强度升高。

弥散强化也是通过阻碍位错运动强化材料，如位错绕过较硬、与基体非共格第二相的 Orowan 机制和切割较软、与基体共格的第二相粒子的切割机制。

产生加工硬化的各种可能机制有滑移面上平行位错间交互作用的平行位错硬化理论，以及滑移面上的位错与其他滑移面上的位错林切割产生割阶的林位错强化理论。

晶界强化，按照霍尔-佩奇公式，其实质是位错越过晶界需要附加应力。

有序强化，有序合金中的位错是超位错，要使金属发生塑性变形就需要使超位错的两个分位错同时运动，因而需要更大的外应力。异类元素原子间的结合力大于同类元素原子间的结合力，所以异类原子的有序排列赋予有序合金较高的强度。

六、随退火温度的升高或退火时间的延长，形变组织中的位错缠结演变为亚晶，亚晶进行合并长大；在形变不均匀区内发生再结晶形核及长大，等轴晶取代形变长条晶粒；随后是晶粒正常长大。在性能上，强度、硬度下降，电阻下降；塑性、韧性提高。这些过程在再结晶阶段比回复阶段更显著。

优先形核地点为：原始晶界、形变时形成的新大角晶界处或通过亚晶长大而

逐步形成的大角晶界、第二相粒子附近等。

再结晶只是一种组织变化，没有结构变化，驱动力是形变储能；结晶是非晶态的液相、气相或固态非晶体中形成晶体的过程；固态相变是固/固相的结构变化。后两者的驱动力都是化学自由能差。

## 七、

1. 影响扩散的因素：①温度的影响。温度越高，扩散越快。②晶体结构的影响。结构不同，扩散系数不同。③固溶体类型对扩散的影响。不同的固溶体，原子的扩散和机制不同。④固溶体浓度对扩散的影响。浓度越大，扩散越容易。⑤晶体缺陷的影响。晶界、位错、空位都会对扩散产生影响。⑥化学成分对扩散的影响。加入化学元素对扩散会产生阻碍。

2. 根据 Fe-O 相图，在 1000℃ 下当表明氧浓度达到 31% 时，则由表面向内依次出现  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 、 $\text{FeO}$  氧化层，最内侧是  $\gamma\text{-Fe}$ ，如图 12-2 所示。随着扩散的进行，氧化层逐渐增厚并向内部推行。

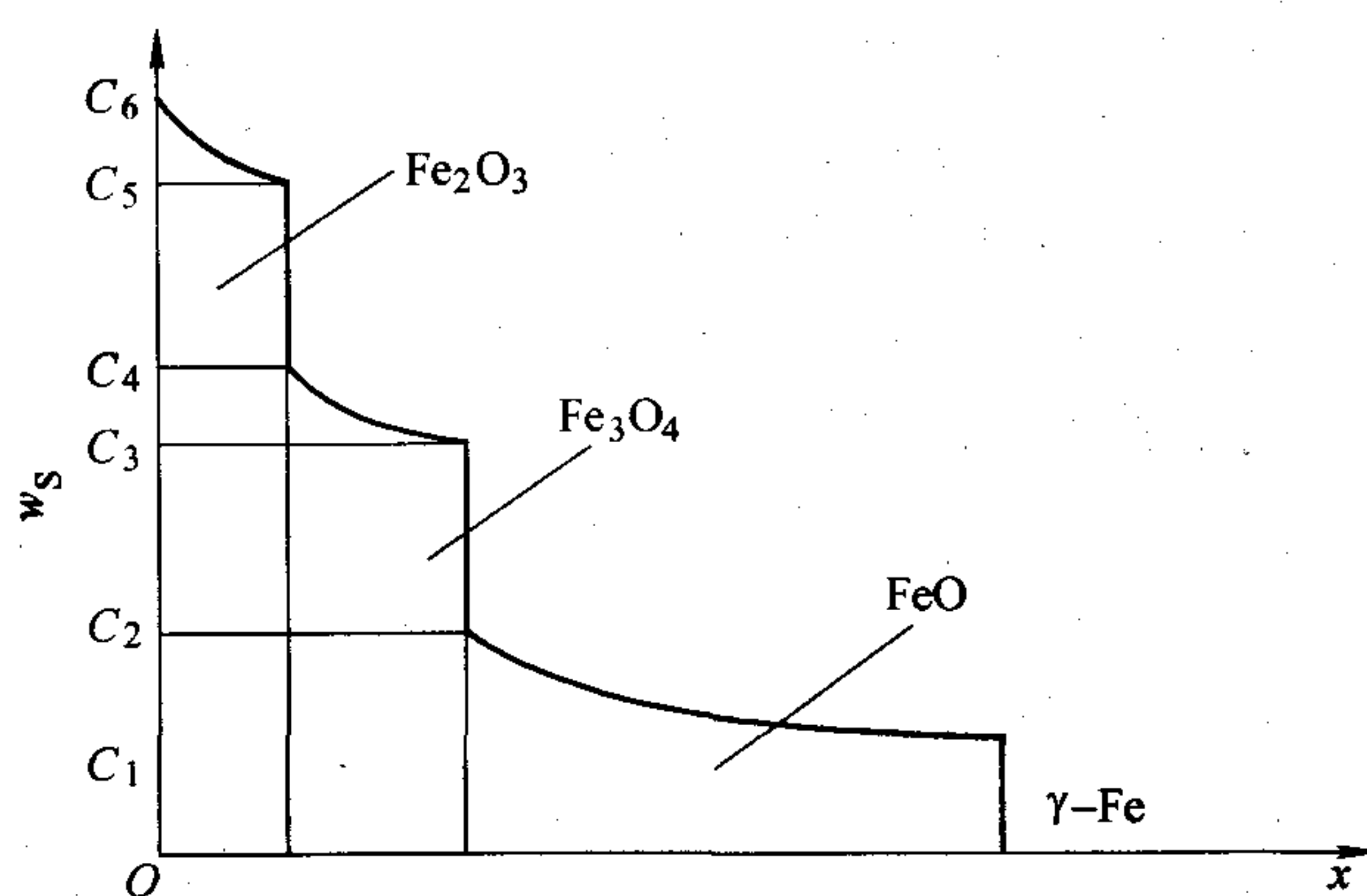


图 12-2 第七题第 2 小题解答图